

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2004 年 1 月 22 日 (22.01.2004)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2004/008507 A1(51) 国際特許分類:
G02B 13/00, 19/00, G03F 7/20

H01L 21/027,

(72) 発明者; および

(21) 国際出願番号:

PCT/JP2003/007691

(75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 豊田 光紀 (TOY-
ODA, Mitsunori) [JP/JP]; 〒100-8331 東京都千代田区
丸の内三丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP).

(22) 国際出願日:

2003 年 6 月 17 日 (17.06.2003)

(74) 代理人: 山口 孝雄 (YAMAGUCHI, Takao); 〒101-0048
東京都千代田区神田司町二丁目 10 番地 第一ビル
Tokyo (JP).

(25) 国際出願の言語:

日本語

(26) 国際公開の言語:

日本語

(30) 優先権データ:

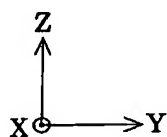
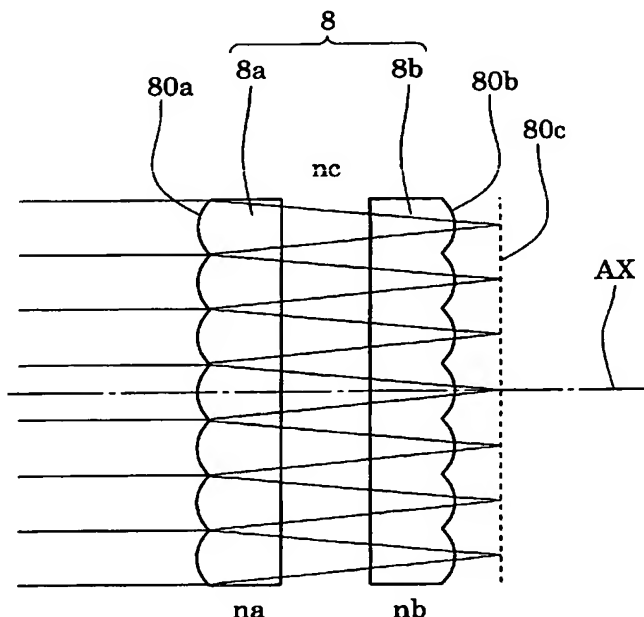
特願2002-204655 2002 年 7 月 12 日 (12.07.2002) JP

(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB,
BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,
ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT,
LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ,
OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ,
TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA,
ZM, ZW.(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社
ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒100-8331
東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL INTEGRATOR, ILLUMINATION OPTICAL DEVICE, EXPOSURE APPARATUS, AND EXPOSURE METHOD

(54) 発明の名称: オプティカルインテグレータ、照明光学装置、露光装置および露光方法



(57) Abstract: An optical integrator having a property of lessening the influence of the manufacture variation of a plurality of small refraction surfaces integrally formed by, e.g., etching on the illumination distribution. The optical integrator (8) comprising a plurality of first small refraction surfaces (80a) that are integrally formed and a plurality of second small refraction surfaces (80b) that are integrally formed, wherein a parameter β expressed by $\beta = (\gamma - 1)^3 \cdot NA^2 / \Delta n^2$ satisfies the condition $|\beta| < 0.2$ where γ is the ratio ϕ_a / ϕ_b of the refractive power ϕ_a of the first small refraction surfaces to the refractive power ϕ_b of the second small refraction surfaces, NA is the numerical aperture of the output side of the optical integrator, and n is the difference in index of refraction of the medium between the light input and output sides of the second small refraction surfaces.

(57) 要約: たとえばエッチング加工により一体的に形成される多数の微小屈折面の製造誤差が照度分布に与える影響を小さく抑える特性を有するオプティカルインテグレータ。一体的に形成された複数の第1微小屈折面(80a)と、一体的に形成された複数の第2微小屈折面(80b)とを備えたオプティカルインテグレータ(8)。第1微小屈折面の屈折力 ϕ_a と第2微小屈折面の屈折力 ϕ_b との屈折力比 ϕ_a / ϕ_b を γ とし、オプティカルインテグレータの射出側の開口数をNAとし、第2微小屈折面の光入射側および光射出側における媒体の屈折率の差を Δn とすると、パラメータ β が、 $|\beta| < 0.2$ 、ただし、 $\beta = (\gamma - 1)^3 \cdot NA^2 / \Delta n^2$ の条件を満足する。



(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 *PCT* ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

オプティカルインテグレータ、照明光学装置、露光装置および露光方法

技術分野

本発明は、オプティカルインテグレータ、照明光学装置、露光装置および露光方法に関し、特に半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイスをリソグラフィ工程で製造するための露光装置に好適な照明光学装置に関する。

背景技術

この種の典型的な露光装置においては、光源から射出された光束がフライアイレンズに入射し、その後側焦点面に多数の光源からなる二次光源を形成する。二次光源からの光束は、フライアイレンズの後側焦点面の近傍に配置された開口絞りを介して制限された後、コンデンサーレンズに入射する。開口絞りは、所望の照明条件（露光条件）に応じて、二次光源の形状または大きさを所望の形状または大きさに制限する。

コンデンサーレンズにより集光された光束は、所定のパターンが形成されたマスクを重畳的に照明する。マスクのパターンを透過した光は、投影光学系を介してウェハ上に結像する。こうして、ウェハ上には、マスクパターンが投影露光（転写）される。なお、マスクに形成されたパターンは高集積化されており、この微細パターンをウェハ上に正確に転写するにはウェハ上において均一な照度分布を得ることが不可欠である。

上述の構成を有する露光装置では、照度分布の均一性を高めるために、フライアイレンズを構成する微小レンズ要素の数をできるだけ多く設定することが必要である。また、開口絞りにおける光量損失を避けるために、所望の形状に近い形状を有する二次光源を形成することが必要である。このため、たとえばフライアイレンズを構成する微小レンズ要素のサイズを非常に小さく設定すること、すな

わちマイクロフライアイレンズを用いることが考えられる。

ここで、フライアイレンズは多数のレンズエレメントを縦横に且つ稠密に配列することにより構成されるのに対し、マイクロフライアイレンズは多数の微小屈折面を一体的に形成することにより構成される。すなわち、フライアイレンズは、単品で研磨した多数のレンズエレメントを組み合わせて稠密配列することにより構成されるのに対し、マイクロフライアイレンズは、たとえば平行平面ガラス板にMEMS技術（リソグラフィ＋エッチング等）を応用して多数の微小屈折面を形成することによって構成される。

したがって、フライアイレンズの製造では、研磨加工したレンズエレメントの屈折面形状を検査し、規格を満たすレンズエレメントを選別し、高精度に形成された屈折面を有するレンズエレメントのみを用いて組み上げることができる。しかしながら、マイクロフライアイレンズでは、研磨加工に比して良質な面形状を得ることが難しいエッチング加工によりすべての微小屈折面を同時に製造することが求められるので、フライアイレンズに比して良品率がかなり低くなる。

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、たとえばエッチング加工により一体的に形成される多数の微小屈折面の製造誤差が照度分布に与える影響を小さく抑える特性を有するオプティカルインテグレータを提供することを目的とする。また、本発明は、微小屈折面の製造誤差が照度分布に与える影響が小さく抑えられたオプティカルインテグレータを用いて、所望の照明条件で被照射面を照明することのできる高性能な照明光学装置を提供することを目的とする。また、本発明は、所望の照明条件で被照射面を照明することのできる高性能な照明光学装置を用いて、良好な照明条件の下で良好な投影露光を行うことのできる露光装置および露光方法を提供することを目的とする。

発明の開示

前記課題を解決するために、本発明の第1発明では、一体的に形成された複数の第1微小屈折面と、該複数の第1微小屈折面よりも光の射出側に設けられて前記複数の第1微小屈折面と光学的に対応するように一体的に形成された複数の第

2 微小屈折面とを備えたオプティカルインテグレータにおいて、

前記第 1 微小屈折面の屈折力 ϕ a と前記第 2 微小屈折面の屈折力 ϕ b との屈折力比 ϕ a / ϕ b を γ とし、前記オプティカルインテグレータの射出側の開口数を NA とし、前記第 2 微小屈折面の光入射側および光射出側における媒体の屈折率の差を Δn とするとき、パラメータ β が、

$$|\beta| < 0.2$$

$$\text{ただし、} \beta = (\gamma - 1)^3 \cdot \text{NA}^2 / \Delta n^2$$

の条件を満足することを特徴とするオプティカルインテグレータを提供する。

第 1 発明の好ましい態様によれば、前記複数の第 1 微小屈折面と前記複数の第 2 微小屈折面とは同一の光学部材に形成されている。あるいは、前記複数の第 1 微小屈折面を有する第 1 光学部材と、該第 1 光学部材の光射出側に配置されて前記複数の第 2 微小屈折面を有する第 2 光学部材とを備えている。また、第 1 発明の好ましい態様によれば、前記複数の第 2 微小屈折面は非球面を備えている。

本発明の第 2 発明では、光の入射側から順に、一体的に形成された複数の第 1 微小屈折面を有する第 1 光学部材と、前記複数の第 1 微小屈折面と光学的に対応するように一体的に形成された複数の第 2 微小屈折面を有する第 2 光学部材とを備えたオプティカルインテグレータにおいて、

前記第 1 光学部材を形成する光学材料の屈折率よりも前記第 2 光学部材を形成する光学材料の屈折率の方が大きく設定されていることを特徴とするオプティカルインテグレータを提供する。

第 2 発明の好ましい態様によれば、前記第 1 光学部材を形成する光学材料の屈折率を n_a とし、前記第 2 光学部材を形成する光学材料の屈折率を n_b とするとき、 $0.05 \leq n_b - n_a$ の条件を満足する。また、300 nm 以下の波長を有する光に対して用いられ、前記第 1 光学部材を形成する光学材料は、石英ガラスまたは蛍石を含み、前記第 2 光学部材を形成する光学材料は、酸化マグネシウム、ルビー、サファイア、結晶水晶、および石英ガラスのうちのいずれか 1 つの材料を含むことが好ましい。あるいは、300 nm 以下の波長を有する光に対して用いられ、前記第 1 光学部材を形成する光学材料は蛍石を含み、前記第 2 光学部材

を形成する光学材料は石英ガラスを含むことが好ましい。また、第1発明および第2発明において、各微小屈折面は、球面形状または非球面形状に形成されることが好ましい。そして、この非球面形状は、回転対称非球面形状または回転非対称非球面形状（たとえば円筒面状）であることが好ましい。

本発明の第3発明では、被照射面を照明する照明光学装置において、第1発明または第2発明のオプティカルインテグレータを備えていることを特徴とする照明光学装置を提供する。この場合、前記オプティカルインテグレータは、照明領域において所定形状の光強度分布を形成することが好ましい。

本発明の第4発明では、第3発明の照明光学装置と、前記被照射面に配置されたマスクのパターンを感光性基板に投影露光するための投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置を提供する。

第4発明の好ましい態様によれば、走査方向に沿って前記マスクおよび前記感光性基板を前記投影光学系に対して相対移動させることにより、前記マスクのパターンを前記感光性基板に投影露光し、前記走査方向に関する前記パラメータ β の絶対値よりも、前記走査方向と光学的にほぼ直交する方向に関する前記パラメータ β の絶対値の方が小さく設定されている。

本発明の第5発明では、第3発明の照明光学装置を介してマスクを照明し、照明された前記マスクに形成されたパターンの像を感光性基板上に投影露光することを特徴とする露光方法を提供する。

本発明の第6発明では、オプティカルインテグレータを含む照明光学系と、マスクのパターン像を感光性基板上に形成するための投影光学系とを備え、走査方向に沿って前記マスクおよび前記感光性基板を前記投影光学系に対して相対移動させつつ、前記マスクのパターンを前記感光性基板に投影露光する露光装置において、

前記オプティカルインテグレータは、一体的に形成された複数の第1微小屈折面と、該複数の第1微小屈折面よりも光の射出側に設けられて前記複数の第1微小屈折面と光学的に対応するように一体的に形成された複数の第2微小屈折面とを備え、

前記走査方向と光学的にほぼ直交する非走査方向に関する前記第 1 微小屈折面の屈折力 ϕa と前記非走査方向に関する前記第 2 微小屈折面の屈折力 ϕb との屈折力比 $\phi a / \phi b$ を γ とし、前記オプティカルインテグレータの前記非走査方向に関する射出側の開口数を NA とし、前記第 2 微小屈折面の光入射側および光射出側における媒体の屈折率の差を Δn とするとき、パラメータ β が、

$$|\beta| < 0.2$$

$$\text{ただし、} \beta = (\gamma - 1)^3 \cdot NA^2 / \Delta n^2$$

の条件を満足することを特徴とする露光装置を提供する。

図面の簡単な説明

第 1 図は、本発明の基本的原理を説明する図である。

第 2 図は、第 1 図のマイクロフライアイレンズにおける光学的特性を説明する図である。

第 3 図は、本発明の実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

第 4 図は、第 3 図のマイクロフライアイレンズの構成を概略的に示す図である。

第 5 図は、本実施形態の第 1 変形例にかかるシリンドリカルマイクロフライアイレンズの構成を概略的に示す斜視図である。

第 6 図は、本実施形態の第 2 変形例にかかるマイクロフライアイレンズの構成を概略的に示す図である。

第 7 図は、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。

第 8 図は、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

発明を実施するための最良の形態

第 1 図は、本発明の基本的原理を説明する図である。第 1 図を参照すると、光源 S から供給された光が、第 1 コンデンサー光学系 $C1$ を介して、マイクロフラ

マイクロナズMFをケーラー照明している。マイクロフラインズMFは、光源S側から順に、第1部分系Aと第2部分系Bとを備えている。第1部分系Aには多数の第1微小屈折面が一体的に形成され、第2部分系Bには多数の第1微小屈折面と光学的に対応するように多数の第2微小屈折面が一体的に形成されている。

したがって、マイクロフラインズMFの各微小屈折面により波面分割された光は、第2コンデンサー光学系C2を介して、被照射面上の照野Iに達する。ここで、マイクロフラインズMFの入射面（すなわち第1部分系Aの入射面）A1と照野Iとの間には、光学的な共役関係が成り立つ。したがって、入射面A1上において各微小屈折面に対応する領域の光強度分布が、照野Iの全体にそれぞれ拡大投影される。第1図には1つの微小屈折面に対応する光線のみが模式的に示されているが、実際には多数の微小屈折面を介して照野Iの全体を重畳的に照明することにより、照野Iの全体に亘って照度分布の均一性が得られる。

第1図に示す照明系では、マイクロフラインズMFの入射面A1と照野Iとの間に光学的な共役関係があるが、結像系P（マイクロフラインズMF+第2コンデンサー光学系C2）の歪曲収差が変化すると、結像倍率が像高によって変化するため、照野Iにおける照度分布が変化することになる。たとえば、一色真幸著の「写真レンズの像面照度分布」（光学技術コンタクトVol. 5, No. 11, p10-14, 1967）によれば、結像系Pの歪曲収差がD%変化すると、照野（結像系Pの像面）Iにおけるの照度が約4D%変化することが知られている。

なお、結像系の収差（歪曲収差を含む）の評価法として、3次収差論による収差評価方法が知られている。3次収差論による収差の解析は、近似による誤差はあるものの、解析的に計算を行うことができるので見通しが良いという利点がある。3次収差論による収差係数の導出法は、例えば松居吉哉著の「収差論」（日本オプトメカトロニクス協会, 1989）に詳しく記載されている。以下、3次収差論を用いて、マイクロフラインズMFの微小屈折面の面形状が変化したときの、マイクロフラインズMFの入射面A1と照野Iとの間に介在す

る結像系Pの歪曲収差の変化を考える。

マイクロフライアイレンズMFにおける各微小屈折面の面形状は、光軸に垂直な方向の高さを y とし、屈折面の頂点における接平面から高さ y における屈折面上の位置までの光軸に沿った距離（サグ量）を x とし、曲率を c とし、円錐係数を κ とすると、以下の式（1）で表される。

$$x = (c \cdot y^2) / [1 + \{1 - (\kappa + 1) c^2 \cdot y^2\}^{1/2}] \quad (1)$$

3次収差論によれば、全ての収差係数は球面項と非球面項との和で表わすことができる。なお、マイクロフライアイレンズMFの製造時における面形状のばらつきは、上記（1）式における曲率 c および円錐係数 κ の変化として現れる。このとき、曲率 c の変化は、照明の大きさには影響するが、照明むらには実質的に影響しない。一方、円錐係数 κ の変化は、収差係数の非球面項を変化させ、照明むらに影響を与える。

前掲の松居吉哉著の「収差論」によれば、物体結像の歪曲収差係数の非球面項 V_{asp} は、一般に次式（2）で表される。式（2）において、 h_i は像近軸追跡値の光線高（物体（像）近軸光線を追跡したときの光線高）であり、 h_p は瞳近軸追跡値の光線高（瞳近軸光線を追跡したときの光線高）である。また、 Ψ は、次式（3）で表わされる係数である。

$$V_{asp} = h_i \cdot h_p^3 \cdot \Psi \quad (2)$$

$$\Psi = \Delta n \cdot c^3 \cdot \kappa \quad (3)$$

ここで、 Δn は、微小屈折面の光入射側および光射出側における媒体の屈折率の差であって、微小屈折面の光射出側における媒体の屈折率 n_2 から微小屈折面の光入射側における媒体の屈折率 n_1 を差し引いた値（ $n_2 - n_1$ ）である。第2図は、第1図のマイクロフライアイレンズにおける光学的特性を説明する図である。第2図では、マイクロフライアイレンズMFの屈折力（パワー）が ϕ 、第1部分系Aの屈折力が ϕ_a 、第2部分系Bの屈折力が ϕ_b 、第1部分系Aと第2部分系Bとの間の空気換算面間隔が s で表わされている。

したがって、マイクロフライアイレンズMFの屈折力 ϕ を1に規格化し、第1部分系Aの屈折力 ϕ_a と第2部分系Bの屈折力 ϕ_b との屈折力比 ϕ_a / ϕ_b を γ

とすると、次の式 (4 a) ~ (4 d) に示す関係が成立する。

$$\phi = 1 \quad (4 a)$$

$$\phi a = \gamma \quad (4 b)$$

$$\phi b = 1 \quad (4 c)$$

$$s = 1 \quad (4 d)$$

このときの近軸追跡値を、次の第 1 表に示す。

第 1 表

	像光線高 h_i	像換算傾角 α_i	瞳光線高 h_p	瞳換算傾角 α_p
第 1 部分系 A	0	-1	-1	0
第 2 部分系 B	1	-1	$\gamma - 1$	$-\gamma$

第 1 表、式 (2) および式 (3) を参照すると、第 1 部分系 A における歪曲収差係数の非球面項 V_{aspA} 、および第 2 部分系 B における歪曲収差係数の非球面項 V_{aspB} は、それぞれ次の式 (5) および (6) で表わされる。

$$V_{aspA} = 0 \quad (5)$$

$$V_{aspB} = (\gamma - 1)^3 \cdot \Delta n \cdot c^3 \cdot \kappa \quad (6)$$

式 (5) および (6) を参照すると、マイクロフライアイレンズ MF の微小屈折面の面形状のばらつき（すなわち円錐係数 κ の変化）に起因する歪曲収差係数の非球面項の変化は、3 次収差の範囲では第 2 部分系 B のみで発生することが分かる。次に、歪曲収差係数の非球面項の変化が照野 I における照度分布に与える影響を考える。第 2 部分系 B において、曲率 c と屈折率差 Δn との間には、以下の式 (7) に示す比例関係が成り立つ。

$$c \propto 1 / \Delta n \quad (7)$$

3 次収差の範囲では、照野 I における照度分布は、像高の二乗に比例して変化する。像高は、マイクロフライアイレンズ MF の射出側の開口数 NA に比例する。したがって、式 (5) ~ (7) より、マイクロフライアイレンズ MF の微小屈折面の面形状の変化に起因する歪曲収差の変化、ひいては照野（像面）I 上での照

度分布の変化の感度 β は、以下の式(8)で表わされる。

$$\beta = (\gamma - 1)^3 \cdot NA^2 / \Delta n^2 \quad (8)$$

ちなみに、マイクロフライアイレンズMFが空気中に配置される場合、第2部分系Bを形成する光学材料の屈折率 n とすれば、式(8)を次の式(8')に示すように変形することができる。

$$\beta = (\gamma - 1)^3 \cdot NA^2 / (n - 1)^2 \quad (8')$$

こうして、パラメータ β の絶対値を小さくすることにより、マイクロフライアイレンズMFの微小屈折面の面形状のばらつきに起因する歪曲収差の変化を小さく抑えることができ、照野Iにおける照度分布が受ける影響を低減することができる。換言すれば、パラメータ β の絶対値を小さくすることにより、たとえばエッチング加工により一体的に形成される多数の微小屈折面の製造誤差が照度分布に与える影響を小さく抑える特性を有するマイクロフライアイレンズ(オプティカルインテグレータ)MFを実現することができる。

ところで、式(8)を参照すると、パラメータ β の絶対値を小さくするには、屈折力比 γ を大きくすること、屈折率差 Δn を大きくすること、およびマイクロフライアイレンズMFの射出側の開口数NAを小さくすることが考えられる。しかしながら、屈折力比 γ が大きくなって1に近づくと、マイクロフライアイレンズMFの射出面(すなわち第2部分系Bの射出面)B2におけるエネルギー密度が増大し、ひいては光エネルギー照射により第2部分系Bが破損する危険性が増大する。

また、マイクロフライアイレンズMFの射出側の開口数NAは、照明領域の大きさと第2コンデンサー光学系C2の焦点距離とにより規定され、これらを変更することなく、マイクロフライアイレンズMFの射出側の開口数NAを所望の小さい値に設定する設計自由度は一般的にない。その結果、本発明では、第2部分系Bにおける屈折率差 Δn を大きく設定する手法を採用する。ただし、光学材料の屈折率の増大に伴ってコストも増大し易いので、第2部分系Bのみに屈折率の高い光学材料を用いるのが現実的である。

こうして、本発明では、第1部分系A(第1光学部材)を形成する光学材料の

屈折率 n_a よりも第 2 部分系 B（第 2 光学部材）を形成する光学材料の屈折率 n_b の方を大きく設定する。この場合、本発明の効果を良好に発揮するには、屈折率 n_a および屈折率 n_b が $0.05 \leq n_b - n_a$ の条件を満足することが好ましい。具体的には、第 1 部分系 A を石英ガラスまたは蛍石で形成する場合、第 2 部分系 B を酸化マグネシウム、ルビー、サファイア、結晶水晶、または石英ガラスで形成することが好ましい。また、第 1 部分系 A を蛍石で形成する場合、第 2 部分系 B を石英ガラスで形成することが好ましい。

なお、設計数値例に基づくシミュレーションによれば、各微小屈折面のサイズ（大きさ）が 0.7 mm で、射出側の開口数 NA が 0.25 の典型的なマイクロフライアイレンズ MF の場合、微小屈折面の面形状誤差を 50 nm 以下にすることは難しく、このときパラメータ β の絶対値が 0.2 を上回ると照野（像面）I での照度のばらつきが許容できないほど大きくなる傾向があることがわかった。

そこで、本発明では、パラメータ β の絶対値が 0.2 を下回るように設定することにより、マイクロフライアイレンズ MF の微小屈折面の面形状のばらつきに起因する歪曲収差の変化を小さく抑え、ひいては照野 I における照度分布が受ける影響を低減する。なお、微小屈折面の製造誤差が照度分布に与える影響をさらに小さく抑えるには、パラメータ β の絶対値の上限値を 0.13 に設定することが好ましい。さて、照明系では、照明領域における照度分布を高度に制御する必要がある場合が存在する。この場合、パラメータ β の絶対値が 0.2 を下回るように設定すると共に、第 2 部分系 B の微小屈折面を非球面とすることが好ましい。これにより、結像系 P（マイクロフライアイレンズ MF + 第 2 コンデンサー光学系 C2）の歪曲収差を制御することが可能になり、ひいては照明領域における照度分布を所望の分布に近づけることが可能になる。

本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。

第 3 図は、本発明の実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。第 3 図において、感光性基板であるウェハ W の法線方向に沿って Z 軸を、ウェハ面内において第 3 図の紙面に平行な方向に Y 軸を、ウェハ面内において第 3 図の紙面に垂直な方向に X 軸をそれぞれ設定している。なお、

第3図では、照明光学装置が輪帯照明を行うように設定されている。

第3図の露光装置は、露光光（照明光）を供給するための光源1として、たとえば248nmの波長の光を供給するKrFエキシマレーザー光源または193nmの波長の光を供給するArFエキシマレーザー光源を備えている。光源1からZ方向に沿って射出されたほぼ平行な光束は、X方向に沿って細長く延びた矩形形状の断面を有し、一对のレンズ2aおよび2bからなるビームエキスパンダー2に入射する。各レンズ2aおよび2bは、第3図の紙面内（YZ平面内）において負の屈折力および正の屈折力をそれぞれ有する。したがって、ビームエキスパンダー2に入射した光束は、第3図の紙面内において拡大され、所定の矩形形状の断面を有する光束に整形される。

整形光学系としてのビームエキスパンダー2を介したほぼ平行な光束は、折り曲げミラー3でY方向に偏向された後、回折光学素子4を介して、アフォーカルズームレンズ5に入射する。一般に、回折光学素子は、ガラス基板に露光光（照明光）の波長程度のピッチを有する段差を形成することによって構成され、入射ビームを所望の角度に回折する作用を有する。具体的には、回折光学素子4は、矩形形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、そのファーフールド（またはフラウンホーファー回折領域）に円形状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、回折光学素子4を介した光束は、アフォーカルズームレンズ5の瞳位置に円形状の光強度分布、すなわち円形状の断面を有する光束を形成する。

なお、回折光学素子4は、照明光路から退避可能に構成されている。アフォーカルズームレンズ5は、アフォーカル系（無焦点光学系）を維持しながら所定の範囲で倍率を連続的に変化させることができるように構成されている。アフォーカルズームレンズ5を介した光束は、輪帯照明用の回折光学素子6に入射する。アフォーカルズームレンズ5は、回折光学素子4の発散原点と回折光学素子6の回折面とを光学的にほぼ共役に結んでいる。そして、回折光学素子6の回折面またはその近傍の面の一点に集光する光束の開口数は、アフォーカルズームレンズ5の倍率に依存して変化する。

輪帯照明用の回折光学素子6は、平行光束が入射した場合に、そのファーフイ

ールドにリング状の光強度分布を形成する機能を有する。なお、回折光学素子 6 は、照明光路に対して挿脱自在に構成され、且つ 4 極照明用の回折光学素子 6 0 や円形照明用の回折光学素子 6 1 と切り換え可能に構成されている。回折光学素子 6 を介した光束は、ズームレンズ 7 に入射する。ズームレンズ 7 の後側焦点面の近傍には、光源側から順に第 1 フライアイ部材 8 a と第 2 フライアイ部材 8 b とからなるマイクロフライアイレンズ 8 の入射面（すなわち第 1 フライアイ部材 8 a の入射面）が位置決めされている。なお、マイクロフライアイレンズ 8 は入射光束に基づいて多数光源を形成するオプティカルインテグレータとして機能するが、その詳細な構成および作用については後述する。

上述したように、回折光学素子 4 を介してアフォーカルズームレンズ 5 の瞳位置に形成される円形状の光強度分布からの光束は、アフォーカルズームレンズ 5 から射出された後、様々な角度成分を有する光束となって回折光学素子 6 に入射する。したがって、回折光学素子 6 を介した光束は、ズームレンズ 7 の後側焦点面に（ひいてはマイクロフライアイレンズ 8 の入射面に）、たとえば光軸 A X を中心とした輪帯状の照野を形成する。

マイクロフライアイレンズ 8 の入射面に形成される輪帯状の照野の外径は、ズームレンズ 7 の焦点距離に依存して変化する。このように、ズームレンズ 7 は、回折光学素子 6 とマイクロフライアイレンズ 8 の入射面とを実質的にフーリエ変換の関係に結んでいる。マイクロフライアイレンズ 8 に入射した光束は二次元的に分割され、その後側焦点面には入射光束によって形成される照野と同じ輪帯状の多数光源（以下、「二次光源」という）が形成される。

マイクロフライアイレンズ 8 の後側焦点面に形成された輪帯状の二次光源からの光束は、コンデンサー光学系 9 の集光作用を受けた後、所定のパターンが形成されたマスク M を重畳的に照明する。マスク M のパターンを透過した光束は、投影光学系 P L を介して、感光性基板であるウェハ W 上にマスクパターンの像を形成する。こうして、投影光学系 P L の光軸 A X と直交する平面（X Y 平面）内においてウェハ W を二次元的に駆動制御しながら一括露光またはスキャン露光を行うことにより、ウェハ W の各露光領域にはマスク M のパターンが逐次露光される。

なお、一括露光では、いわゆるステップ・アンド・リピート方式にしたがって、ウェハの各露光領域に対してマスクパターンを一括的に露光する。この場合、マスクM上での照明領域の形状は正方形に近い矩形状となる。一方、スキャン露光では、いわゆるステップ・アンド・スキャン方式にしたがって、マスクおよびウェハを投影光学系に対して相対移動させながらウェハの各露光領域に対してマスクパターンをスキャン露光する。この場合、マスクM上での照明領域の形状は短辺と長辺との比がたとえば1 : 3の矩形状となる。

本実施形態では、アフォーカルズームレンズ5の倍率が変化すると、輪帯状の二次光源の中心高さ（円形状の中心線の光軸AXからの距離）が変化することなく、その幅（外径（直径）と内径（直径）との差の $1/2$ ）だけが変化する。すなわち、アフォーカルズームレンズ5の倍率を変化させることにより、輪帯状の二次光源の大きさ（外径）およびその形状（輪帯比：内径／外径）をともに変更することができる。

また、ズームレンズ7の焦点距離が変化すると、輪帯状の二次光源の輪帯比が変化することなく、中心高さおよびその幅がともに変化する。すなわち、ズームレンズ7の焦点距離を変化させることにより、輪帯状の二次光源の輪帯比を変更することなくその外径を変更することができる。以上より、本実施形態では、アフォーカルズームレンズ5の倍率とズームレンズ7の焦点距離とを適宜変化させることにより、輪帯状の二次光源の外径を変化させることなくその輪帯比だけを変更することができる。

前述したように、回折光学素子6は、照明光路に対して挿脱自在に構成され、且つ4極照明用の回折光学素子60や円形照明用の回折光学素子61と切り換え可能に構成されている。以下、回折光学素子6に代えて回折光学素子60を照明光路中に設定することによって得られる4極照明について説明する。4極照明用の回折光学素子60は、平行光束が入射した場合に、そのファーストフィールドに4点状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、回折光学素子60を介した光束は、マイクロフライアイレンズ8の入射面に、たとえば光軸AXを中心とした4つの円形状の照野からなる4極状の照野を形成する。その結果、マイク

ロフライアイレンズ 8 の後側焦点面にも、その入射面に形成された照野と同じ 4 極状の二次光源が形成される。

4 極照明においても輪帯照明の場合と同様に、アフォーカルズームレンズ 5 の倍率を変化させることにより、4 極状の二次光源の外径（4 つの円形状の面光源に外接する円の直径）および輪帯比（4 つの円形状の面光源に内接する円の直径 / 4 つの円形状の面光源に外接する円の直径）をともに変更することができる。また、ズームレンズ 7 の焦点距離を変化させることにより、4 極状の二次光源の輪帯比を変更することなくその外径を変更することができる。その結果、アフォーカルズームレンズ 5 の倍率とズームレンズ 7 の焦点距離とを適宜変化させることにより、4 極状の二次光源の外径を変化させることなくその輪帯比だけを変更することができる。

次いで、回折光学素子 4 を照明光路から退避させるとともに、回折光学素子 6 または 6 0 に代えて円形照明用の回折光学素子 6 1 を照明光路中に設定することによって得られる円形照明について説明する。この場合、アフォーカルズームレンズ 5 には光軸 A X に沿って矩形状の断面を有する光束が入射する。アフォーカルズームレンズ 5 に入射した光束は、その倍率に応じて拡大または縮小され、矩形状の断面を有する光束のまま光軸 A X に沿ってアフォーカルズームレンズ 5 から射出され、回折光学素子 6 1 に入射する。

ここで、円形照明用の回折光学素子 6 1 は、回折光学素子 4 と同様に、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合に、ファーフールドに円形状の光強度分布を形成する機能を有する。したがって、回折光学素子 6 1 により形成された円形光束は、ズームレンズ 7 を介して、マイクロフライアイレンズ 8 の入射面において光軸 A X を中心とした円形状の照野を形成する。その結果、マイクロフライアイレンズ 8 の後側焦点面にも、光軸 A X を中心とした円形状の二次光源が形成される。この場合、アフォーカルズームレンズ 5 の倍率またはズームレンズ 7 の焦点距離を変化させることにより、円形状の二次光源の外径を適宜変更することができる。

第 4 図は、第 3 図のマイクロフライアイレンズの構成を概略的に示す図である。

第4図を参照すると、マイクロフライアイレンズ8は、光源側に配置された第1フライアイ部材8aとマスク側（被照射面側）に配置された第2フライアイ部材8bとから構成されている。第1フライアイ部材8aの光源側（第4図中左側）の面には、多数の第1微小屈折面80aが縦横に且つ一体的に形成されている。一方、第2フライアイ部材8bのマスク側の面には、多数の第1微小屈折面80aと光学的に対応するように多数の第2微小屈折面80bが縦横に且つ一体的に形成されている。

ここで、各微小屈折面は球面状に形成され、マスクM上に形成すべき照明領域と相似な矩形状の外形を有する。したがって、マイクロフライアイレンズ8に入射した平行光束は、多数の第1微小屈折面80aによって波面分割され、第1微小屈折面80aおよび対応する第2微小屈折面80bの屈折作用を順次受けた後、マイクロフライアイレンズ8の後側焦点面80c上に集光し、その結果、第1微小屈折面80aの数（ひいては第2微小屈折面80bの数）と同じ多数の光源を形成する。

本実施形態では、第1フライアイ部材8aが例えば石英ガラスまたは蛍石で形成され、第2フライアイ部材8bが例えば水晶で形成されている。あるいは、第1フライアイ部材8aが例えば蛍石で形成され、第2フライアイ部材8bが例えば石英ガラスで形成されている。すなわち、第1フライアイ部材8aを形成する光学材料の屈折率 n_a よりも第2フライアイ部材8bを形成する光学材料の屈折率 n_b の方が、たとえば0.05以上大きく設定されている。

さらに、本実施形態では、式(8)で規定されるパラメータ β の絶対値が0.2よりも小さくなるように設定されている。ここで、式(8)における屈折率差 Δn は、第2フライアイ部材8bを形成する光学材料の屈折率 n_b と、マイクロフライアイレンズ8の雰囲気形成する媒体の屈折率 n_c との差($n_b - n_c$)で与えられる。すなわち、マイクロフライアイレンズ8が空気中に配置されている場合、屈折率差 Δn は($n_b - 1$)で与えられる。

本実施形態では、上述のように、第2フライアイ部材8bを形成する光学材料の屈折率 n_b が比較的大きく設定されているので、屈折率差 Δn が大きくなり、

ひいてはパラメータ β の絶対値が小さく抑えられる。その結果、前述した本発明の作用に基づいて、マイクロフライアイレンズMFの微小屈折面の面形状のばらつきに起因する歪曲収差の変化を小さく抑え、ひいてはマスクMおよびウェハWにおける照度分布が受ける影響を低減することができる。

なお、上述の実施形態では、各微小屈折面が球面状に形成されたマイクロフライアイレンズ8に対して本発明を適用している。しかしながら、これに限定されることなく、各微小屈折面が円筒面状に形成されたシリンドリカルマイクロフライアイレンズに対して本発明を適用する変形例（第1変形例）も可能である。第5図は、本実施形態の第1変形例にかかるシリンドリカルマイクロフライアイレンズの構成を概略的に示す斜視図である。

第5図を参照すると、本実施形態の第1変形例にかかるシリンドリカルマイクロフライアイレンズ81は、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ81は、光源側に配置された第1フライアイ部材81aとマスク側に配置された第2フライアイ部材81bとから構成されている。第1フライアイ部材81aの光源側の面および第2フライアイ部材81bの光源側の面には、X方向に沿って配列されたシリンドリカルレンズ群82aおよび82bがそれぞれピッチp1で形成されている。

一方、第1フライアイ部材81aのマスク側の面および第2フライアイ部材81bのマスク側の面には、Z方向に沿って配列されたシリンドリカルレンズ群83aおよび83bがそれぞれピッチp2で形成されている。シリンドリカルマイクロフライアイレンズ81のX方向に関する屈折作用（すなわちXY平面に関する屈折作用）に着目すると、光軸AXに沿って入射した平行光束は、第1フライアイ部材81aの光源側に形成されたシリンドリカルレンズ群82aによってX方向に沿ってピッチp1で波面分割され、その屈折面で集光作用を受けた後、第2フライアイ部材81bの光源側に形成されたシリンドリカルレンズ群82bのうちの対応するシリンドリカルレンズの屈折面で集光作用を受け、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ81の後側焦点面上に集光する。

一方、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ81のZ方向に関する屈折作

用（すなわち Z Y 平面に関する屈折作用）に着目すると、光軸 A X に沿って入射した平行光束は、第 1 フライアイ部材 8 1 a のマスク側に形成されたシリンドリカルレンズ群 8 3 a によって Z 方向に沿ってピッチ p 2 で波面分割され、その屈折面で集光作用を受けた後、第 2 フライアイ部材 8 1 b のマスク側に形成されたシリンドリカルレンズ群 8 3 b のうちの対応するシリンドリカルレンズの屈折面で集光作用を受け、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ 8 1 の後側焦点面上に集光する。

このように、第 1 変形例のシリンドリカルマイクロフライアイレンズ 8 1 は、シリンドリカルレンズ群が両側面に配置された第 1 フライアイ部材 8 1 a と第 2 フライアイ部材 8 1 b とにより構成されているが、X 方向に p 1 のサイズを有し Z 方向に p 2 のサイズを有する多数の微小屈折面が縦横に且つ一体的に形成された第 1 フライアイ部材 8 a と第 2 フライアイ部材 8 b とにより構成されたマイクロフライアイレンズ 8 と同様の光学的機能を発揮する。

なお、第 1 変形例のシリンドリカルマイクロフライアイレンズ 8 1 に本発明を適用する場合、X 方向に関する屈折作用に着目すると、第 1 フライアイ部材 8 1 a の光源側に形成されたシリンドリカルレンズ群 8 2 a の屈折面が第 1 微小屈折面を構成し、第 2 フライアイ部材 8 1 b の光源側に形成されたシリンドリカルレンズ群 8 2 b の屈折面が第 2 微小屈折面を構成することになる。また、Z 方向に関する屈折作用に着目すると、第 1 フライアイ部材 8 1 a のマスク側に形成されたシリンドリカルレンズ群 8 3 a の屈折面が第 1 微小屈折面を構成し、第 2 フライアイ部材 8 1 b のマスク側に形成されたシリンドリカルレンズ群 8 3 b の屈折面が第 2 微小屈折面を構成することになる。

こうして、第 1 変形例においても上述の実施形態と同様に、第 1 フライアイ部材 8 1 a を形成する光学材料の屈折率 n_a よりも第 2 フライアイ部材 8 1 b を形成する光学材料の屈折率 n_b の方を大きく設定するとともに、パラメータ β の絶対値を 0.2 よりも小さく抑えることにより、シリンドリカルマイクロフライアイレンズ 8 1 の微小屈折面の面形状のばらつきに起因する歪曲収差の変化を小さく抑え、照度分布が受ける影響を低減することができる。

また、上述の実施形態では、一对のフライアイ部材 8 a および 8 b から構成されたマイクロフライアイレンズ 8 に対して本発明を適用している。しかしながら、これに限定されることなく、単一の光学部材からなる通常のマイクロフライアイレンズに対して本発明を適用する変形例（第 2 変形例）も可能である。第 6 図は、本実施形態の第 2 変形例にかかるマイクロフライアイレンズの構成を概略的に示す図である。

第 6 図に示すような単一の光学部材からなる通常のマイクロフライアイレンズ 8 4 では、その光源側に多数の第 1 微小屈折面 8 4 a が縦横に且つ一体的に形成され、そのマスク側に多数の第 1 微小屈折面 8 4 a と光学的に対応するように多数の第 2 微小屈折面 8 4 b が縦横に且つ一体的に形成されている。なお、第 1 変形例のマイクロフライアイレンズ 8 4 に本発明を適用する場合、光軸 A X に直交する仮想的な分割面 8 4 c でマイクロフライアイレンズ 8 4 を 2 等分し、分割面 8 4 c よりも光源側が第 1 光学部材を構成し、分割面 8 4 c よりもマスク側が第 2 光学部材を構成するものとする。

第 2 変形例では、マイクロフライアイレンズ 8 4 が単一の光学部材により構成されているため、上述の実施形態とは異なり、第 1 光学部材を形成する光学材料の屈折率よりも第 2 光学部材を形成する光学材料の屈折率の方を大きく設定することはできない。しかしながら、第 2 変形例においても上述の実施形態と同様に、パラメータ β の絶対値を 0.2 よりも小さく抑えることにより、マイクロフライアイレンズ 8 4 の微小屈折面の面形状のばらつきに起因する歪曲収差の変化を小さく抑え、照度分布が受ける影響を低減することができる。

ところで、スキャン露光型の露光装置の場合、ウェハ W 上における走査方向の照度むらは、スキャン露光による平均化効果によって低減される。したがって、スキャン露光型の露光装置に用いられるマイクロフライアイレンズ（8, 8 1, 8 4）では、ウェハ W 上における走査方向（X 方向）と光学的に対応する方向（X 方向）に関してパラメータ β の条件式を満たす必要はないが、ウェハ W 上における非走査方向（Y 方向）と光学的に対応する方向（Z 方向）に関するパラメータ β の条件式を満たす必要がある。

ただし、各微小屈折面が球面状に形成されたマイクロフライアイレンズ（８，８４）では、屈折力比 γ および屈折率差 Δn が方向に依存することなく一定であり、射出側の開口数 NA は走査方向（ X 方向）よりも非走査方向（ Z 方向）の方が大きく設定されるのが通常である。したがって、本発明にしたがって非走査方向（ Z 方向）に関してパラメータ β の条件式を満たすように設定すれば、走査方向（ X 方向）に関するパラメータ β の条件式も必然的に満たされることになる。

これに対し、各微小屈折面が円筒面状に形成されたシリンドリカルマイクロフライアイレンズ８１では、屈折率差 Δn が方向に依存することなく一定であり、射出側の開口数 NA は走査方向よりも非走査方向の方が大きく設定されるのが通常であるが、屈折力比 γ は方向に依存することなくある程度自由に設定可能である。したがって、この場合には、非走査方向（ Z 方向）に関してパラメータ β の条件式を満たすが、走査方向（ X 方向）に関するパラメータ β の条件式が必ずしも満たされない態様も可能である。

上述の実施形態（変形例を含む）にかかる露光装置では、照明光学装置によってマスク（レチクル）を照明し（照明工程）、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する（露光工程）ことにより、マイクロデバイス（半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）を製造することができる。以下、上述の実施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウェハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき第７図のフローチャートを参照して説明する。

まず、第７図のステップ３０１において、１ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ３０２において、その１ロットのウェハ上の金属膜上にフォトリソグが塗布される。その後、ステップ３０３において、上述の実施形態の露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系を介して、その１ロットのウェハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ３０４において、その１ロットのウェハ上のフォトリソグの現像が行われた後、ステップ３０５において、その１ロットのウェハ上でレジストパターンをマスク

としてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。

また、上述の実施形態の露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、第8図のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。第8図において、パターン形成工程401では、上述の実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィ工程が実行される。この光リソグラフィ工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レジスト剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。

次に、カラーフィルター形成工程402では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列したカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行される。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル（液

晶セル)の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

なお、上述の実施形態では、コンデンサー光学系9によって二次光源からの光を集光して重疊的にマスクMを照明している。しかしながら、これに限定されることなく、コンデンサー光学系9とマスクMとの間の光路中に、照明視野絞り(マスクブラインド)と、この照明視野絞りの像をマスクM上に形成するリレー光学系とを配置しても良い。この場合、コンデンサー光学系9は、二次光源からの光を集光して重疊的に照明視野絞りを照明することになり、リレー光学系は照明視野絞りの開口部(光透過部)の像をマスクM上に形成することになる。

また、上述の実施形態では、露光光としてKrFエキシマレーザー光(波長: 248nm)やArFエキシマレーザー光(波長: 193nm)を用いているが、これに限定させることなく、たとえば300nm以下の波長を有する露光光に対して本発明を適用することもできる。さらに、上述の実施形態では、照明光学装置を備えた投影露光装置を例にとって本発明を説明したが、マスク以外の被照射面を照明するための一般的な照明光学装置に本発明を適用することができることは明らかである。

産業上の利用の可能性

以上説明したように、本発明では、オプティカルインテグレートがパラメータ β に関する条件式を満たすように設定されているので、オプティカルインテグレート微小屈折面の面形状のばらつきに起因する歪曲収差の変化を小さく抑え、ひいては被照射面における照度分布が受ける影響を低減することができる。

したがって、本発明の照明光学装置では、微小屈折面の製造誤差が照度分布に与える影響が小さく抑えられたオプティカルインテグレートを用いて、所望の照明条件で被照射面を照明することができる。また、本発明の露光装置および露光方法では、所望の照明条件で被照射面を照明することのできる高性能な照明光学

- 22 -

装置を用いて、良好な照明条件の下で良好な投影露光を行うことにより良好なデ
バイスを製造することができる。

請 求 の 範 囲

1. 一体的に形成された複数の第1微小屈折面と、該複数の第1微小屈折面よりも光の射出側に設けられて前記複数の第1微小屈折面と光学的に対応するように一体的に形成された複数の第2微小屈折面とを備えたオプティカルインテグレータにおいて、

前記第1微小屈折面の屈折力 ϕ_a と前記第2微小屈折面の屈折力 ϕ_b との屈折力比 ϕ_a/ϕ_b を γ とし、前記オプティカルインテグレータの射出側の開口数を NA とし、前記第2微小屈折面の光入射側および光射出側における媒体の屈折率の差を Δn とすると、パラメータ β が、

$$|\beta| < 0.2$$

$$\text{ただし、}\beta = (\gamma - 1)^3 \cdot NA^2 / \Delta n^2$$

の条件を満足することを特徴とするオプティカルインテグレータ。

2. 請求の範囲第1項に記載のオプティカルインテグレータにおいて、

前記複数の第1微小屈折面と前記複数の第2微小屈折面とは同一の光学部材に形成されていることを特徴とするオプティカルインテグレータ。

3. 請求の範囲第1項に記載のオプティカルインテグレータにおいて、

前記複数の第1微小屈折面を有する第1光学部材と、該第1光学部材の光射出側に配置されて前記複数の第2微小屈折面を有する第2光学部材とを備えていることを特徴とするオプティカルインテグレータ。

4. 請求の範囲第1項乃至第3項のいずれか1項に記載のオプティカルインテグレータにおいて、

前記複数の第2微小屈折面は非球面を備えていることを特徴とするオプティカルインテグレータ。

5. 光の入射側から順に、一体的に形成された複数の第1微小屈折面を有する第1光学部材と、前記複数の第1微小屈折面と光学的に対応するように一体的に形成された複数の第2微小屈折面を有する第2光学部材とを備えたオプティカルインテグレータにおいて、

前記第1光学部材を形成する光学材料の屈折率よりも前記第2光学部材を形成する光学材料の屈折率の方が大きく設定されていることを特徴とするオプティカルインテグレータ。

6. 請求の範囲第5項に記載のオプティカルインテグレータにおいて、

前記第1光学部材を形成する光学材料の屈折率を n_a とし、前記第2光学部材を形成する光学材料の屈折率を n_b とすると、

$$0.05 \leq n_b - n_a$$

の条件を満足することを特徴とするオプティカルインテグレータ。

7. 請求の範囲第5項または第6項に記載のオプティカルインテグレータにおいて、

300nm以下の波長を有する光に対して用いられ、

前記第1光学部材を形成する光学材料は、石英ガラスまたは蛍石を含み、

前記第2光学部材を形成する光学材料は、酸化マグネシウム、ルビー、サファイア、結晶水晶、および石英ガラスのうちのいずれか1つの材料を含むことを特徴とするオプティカルインテグレータ。

8. 請求の範囲第5項または第6項に記載のオプティカルインテグレータにおいて、

300nm以下の波長を有する光に対して用いられ、

前記第1光学部材を形成する光学材料は蛍石を含み、

前記第2光学部材を形成する光学材料は石英ガラスを含むことを特徴とするオプティカルインテグレータ。

9. 請求の範囲第1項乃至第8項のいずれか1項に記載のオプティカルインテグレータにおいて、

各微小屈折面は、球面形状または非球面形状に形成されていることを特徴とするオプティカルインテグレータ。

10. 請求の範囲第4項または第9項に記載のオプティカルインテグレータにおいて、

前記非球面は回転対称非球面または回転非対称非球面であることを特徴とするオプティカルインテグレータ。

11. 請求の範囲第1項乃至第10項のいずれか1項に記載のオプティカルインテグレータにおいて、

走査方向に沿ってマスクおよび感光性基板を投影光学系に対して相対移動させることにより、前記マスクのパターンを前記感光性基板に投影露光する露光装置に用いられ、

前記走査方向に関する前記パラメータ β の絶対値よりも、前記走査方向と光学的にほぼ直交する方向に関する前記パラメータ β の絶対値の方が小さく設定されていることを特徴とするオプティカルインテグレータ。

12. 被照射面を照明する照明光学装置において、

請求の範囲第1項乃至第11項のいずれか1項に記載のオプティカルインテグレータを備えていることを特徴とする照明光学装置。

13. 請求の範囲第12項に記載の照明光学装置において、

前記オプティカルインテグレータは、照明領域において所定形状の光強度分布を形成することを特徴とする照明光学装置。

14. 請求の範囲第12項または第13項に記載の照明光学装置と、前記被照射面に配置されたマスクのパターンを感光性基板に投影露光するための投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置。

15. 請求の範囲第14項に記載の露光装置において、

走査方向に沿って前記マスクおよび前記感光性基板を前記投影光学系に対して相対移動させることにより、前記マスクのパターンを前記感光性基板に投影露光し、

前記走査方向に関する前記パラメータ β の絶対値よりも、前記走査方向と光学的にほぼ直交する方向に関する前記パラメータ β の絶対値の方が小さく設定されていることを特徴とする露光装置。

16. 請求の範囲第12項または第13項に記載の照明光学装置を介してマスクを照明し、照明された前記マスクに形成されたパターンの像を感光性基板上に投影露光することを特徴とする露光方法。

17. 請求の範囲第16項に記載の露光方法において、

走査方向に沿って前記マスクおよび前記感光性基板を投影光学系に対して相対移動させつつ、前記マスクのパターンを前記感光性基板上に投影露光し、

前記走査方向に関する前記パラメータ β の絶対値よりも、前記走査方向と光学的にほぼ直交する方向に関する前記パラメータ β の絶対値の方が小さく設定されていることを特徴とする露光方法。

18. オプティカルインテグレータを含む照明光学系と、マスクのパターン像を感光性基板上に形成するための投影光学系とを備え、走査方向に沿って前記マスクおよび前記感光性基板を前記投影光学系に対して相対移動させつつ、前記マスクのパターンを前記感光性基板に投影露光する露光装置において、

前記オプティカルインテグレータは、一体的に形成された複数の第1微小屈折

面と、該複数の第1微小屈折面よりも光の射出側に設けられて前記複数の第1微小屈折面と光学的に対応するように一体的に形成された複数の第2微小屈折面とを備え、

前記走査方向と光学的にほぼ直交する非走査方向に関する前記第1微小屈折面の屈折力 ϕa と前記非走査方向に関する前記第2微小屈折面の屈折力 ϕb との屈折力比 $\phi a / \phi b$ を γ とし、前記オプティカルインテグレータの前記非走査方向に関する射出側の開口数を NA とし、前記第2微小屈折面の光入射側および光射出側における媒体の屈折率の差を Δn とすると、パラメータ β が、

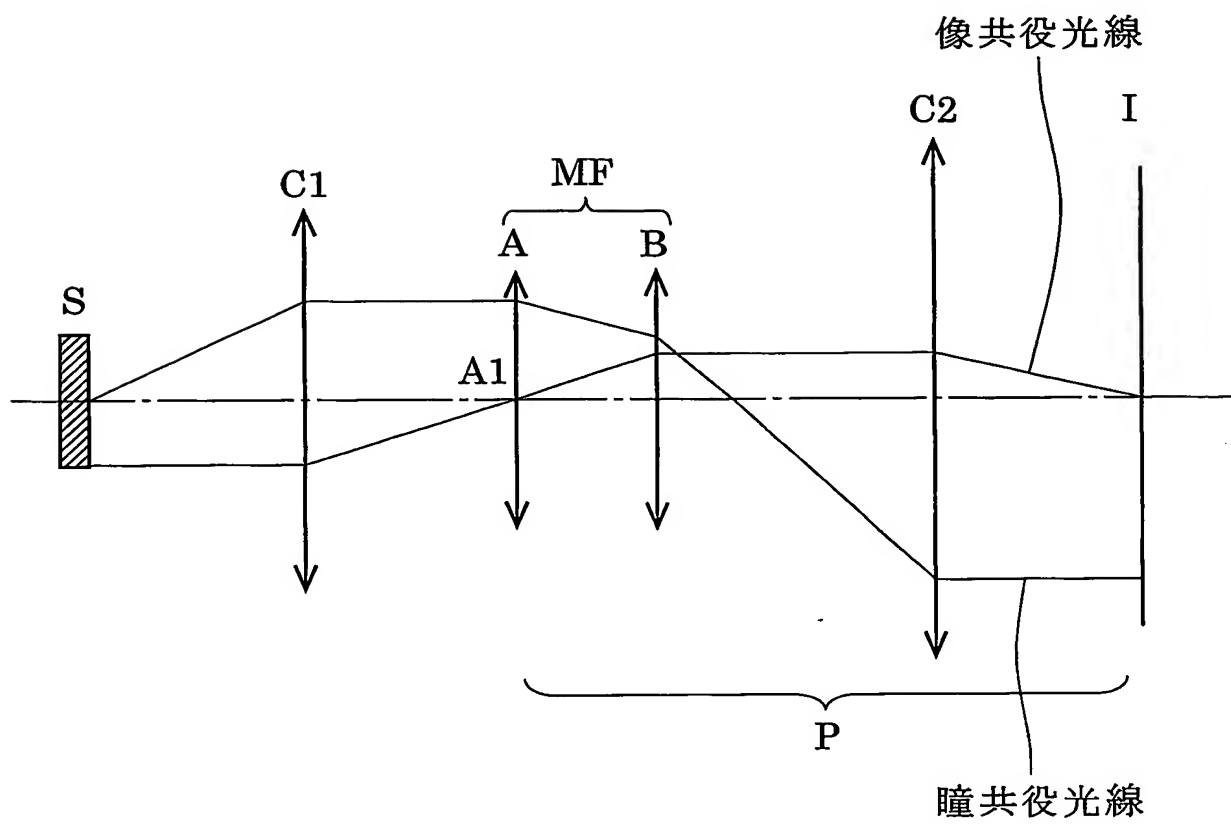
$$|\beta| < 0.2$$

$$\text{ただし、} \beta = (\gamma - 1)^3 \cdot NA^2 / \Delta n^2$$

の条件を満足することを特徴とする露光装置。

1 / 8

第 1 図



第 2 図

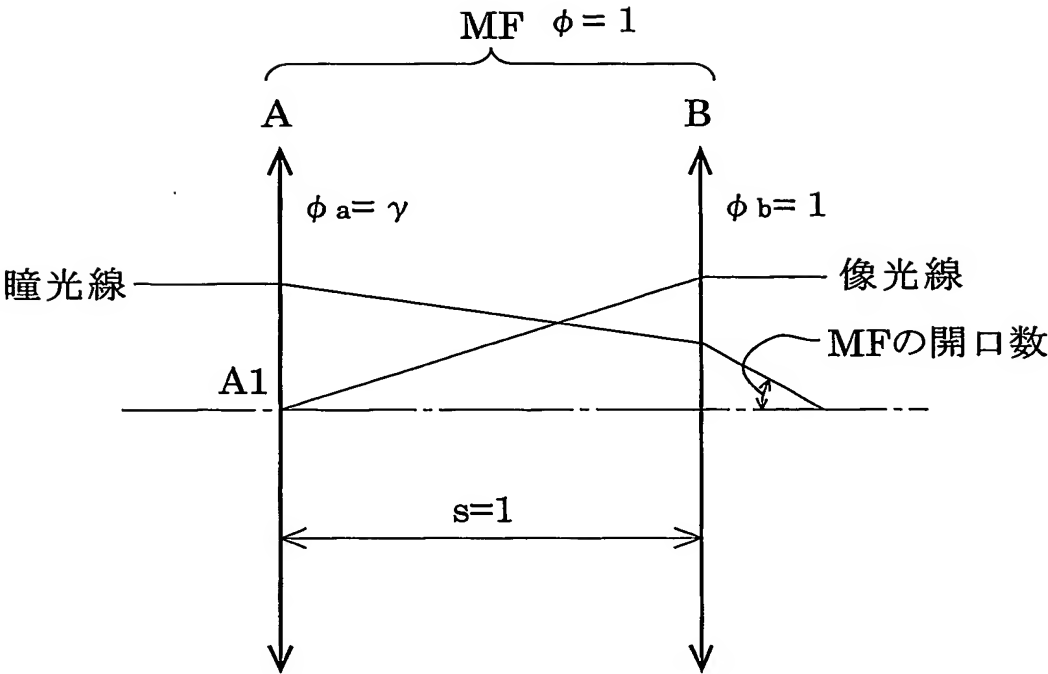
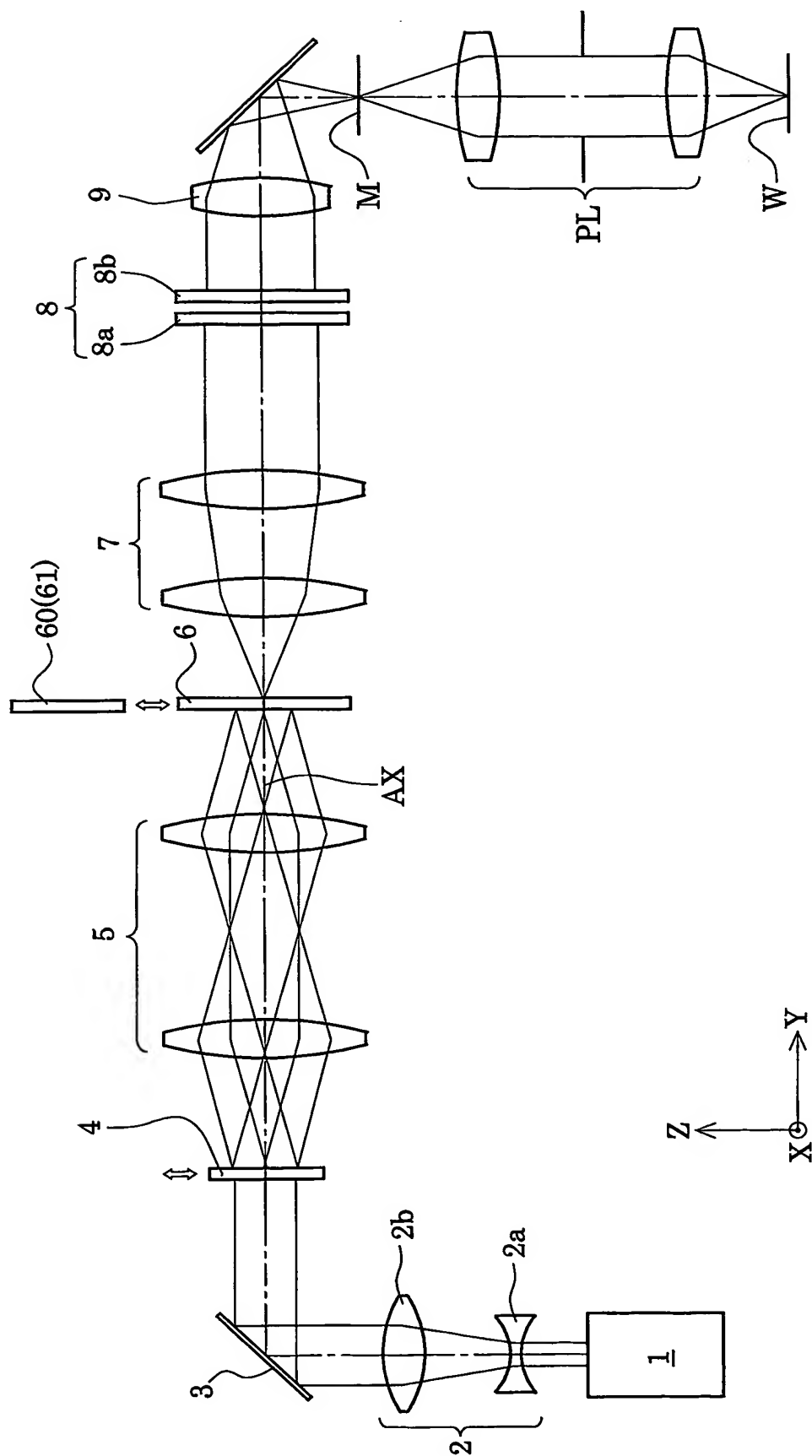
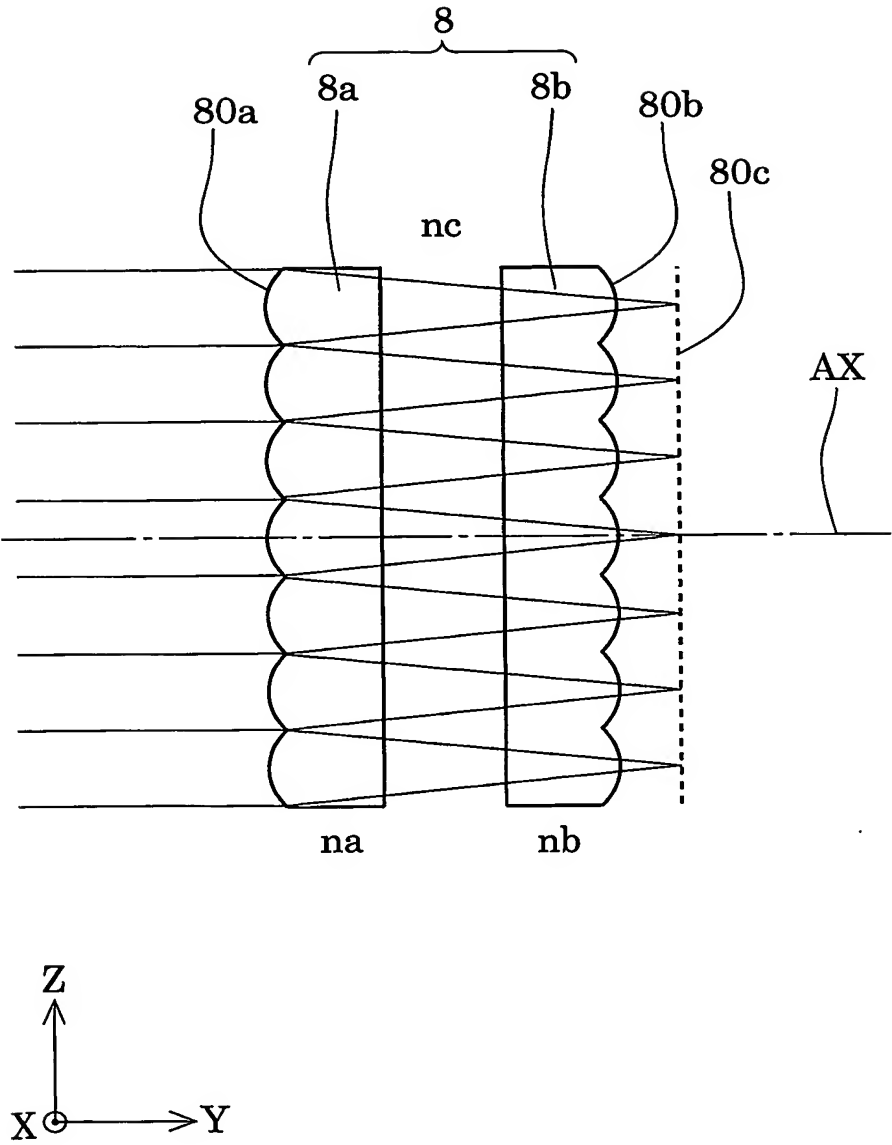


図
3
集

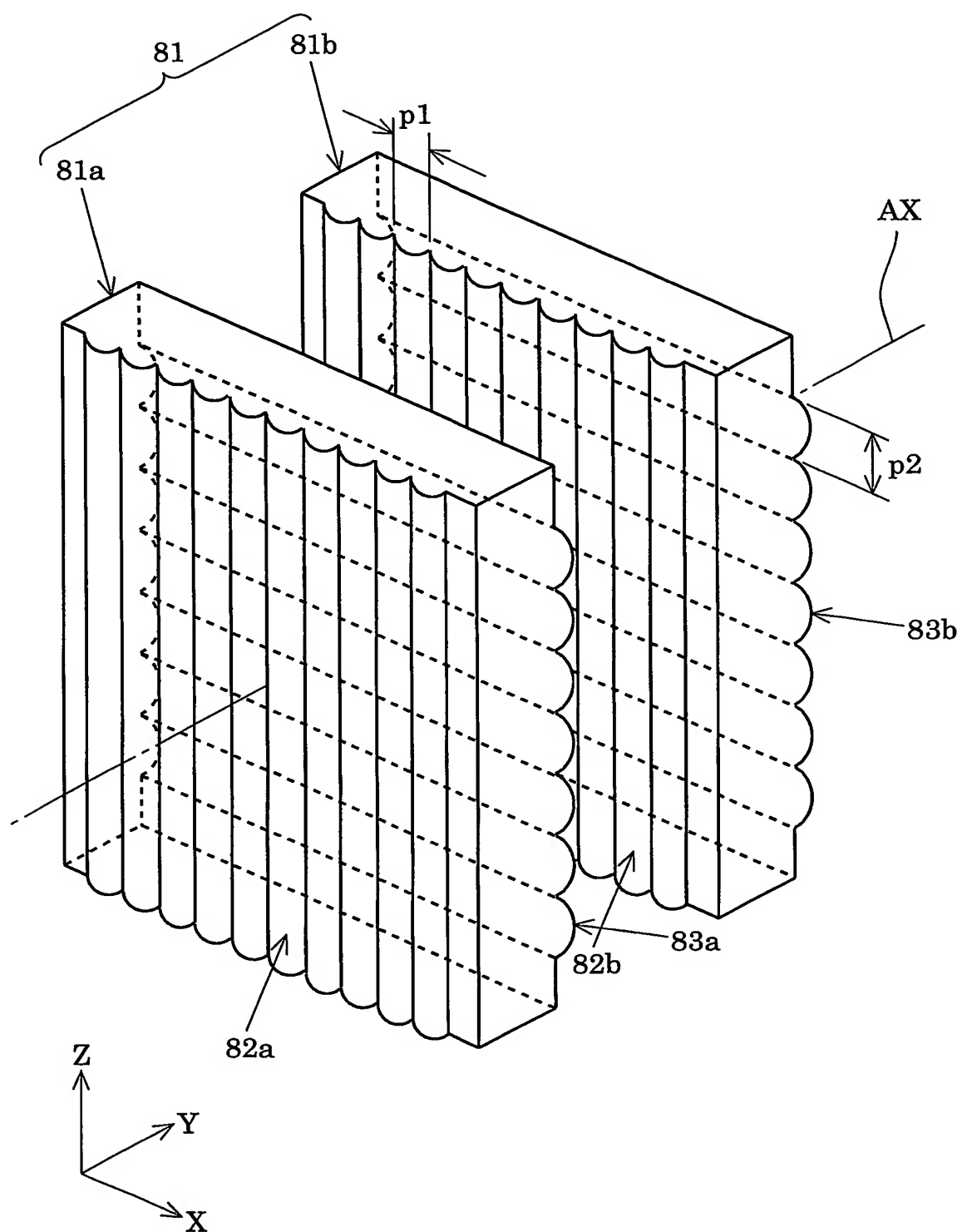


第 4 図



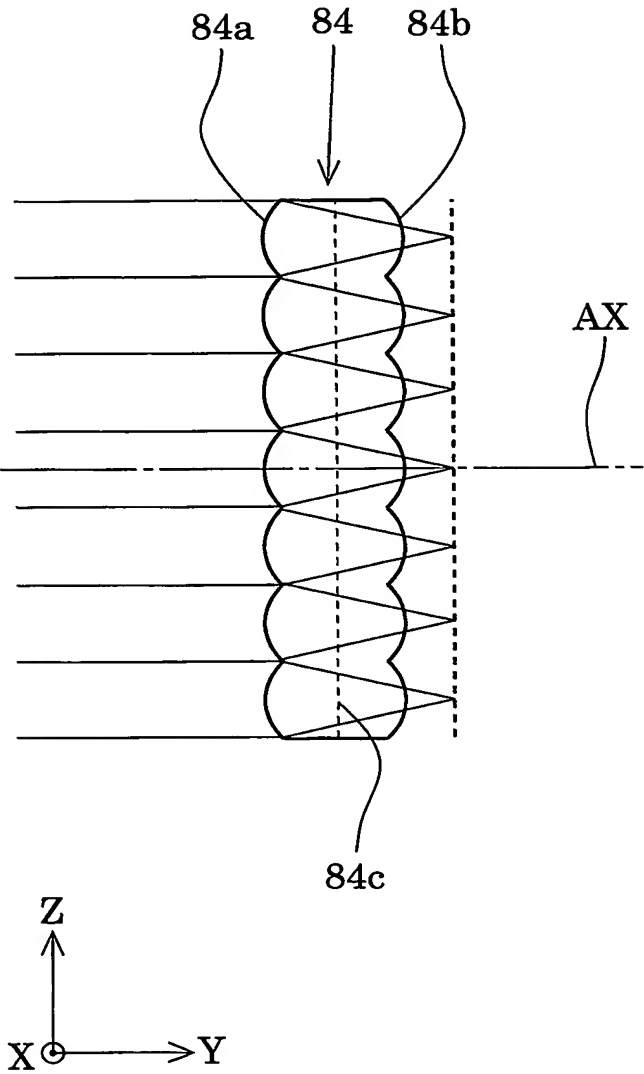
5 / 8

第 5 図



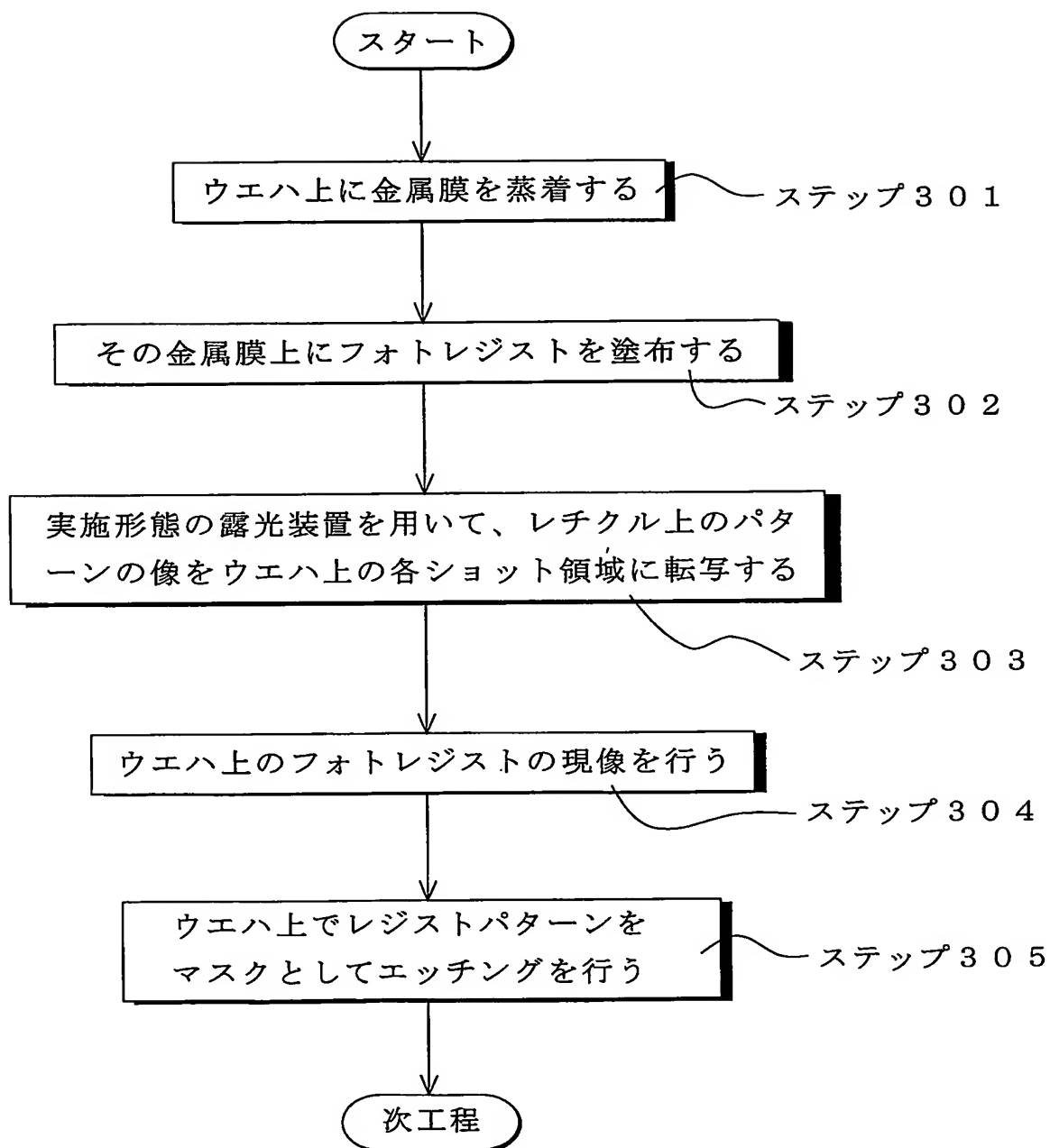
6 / 8

第 6 図



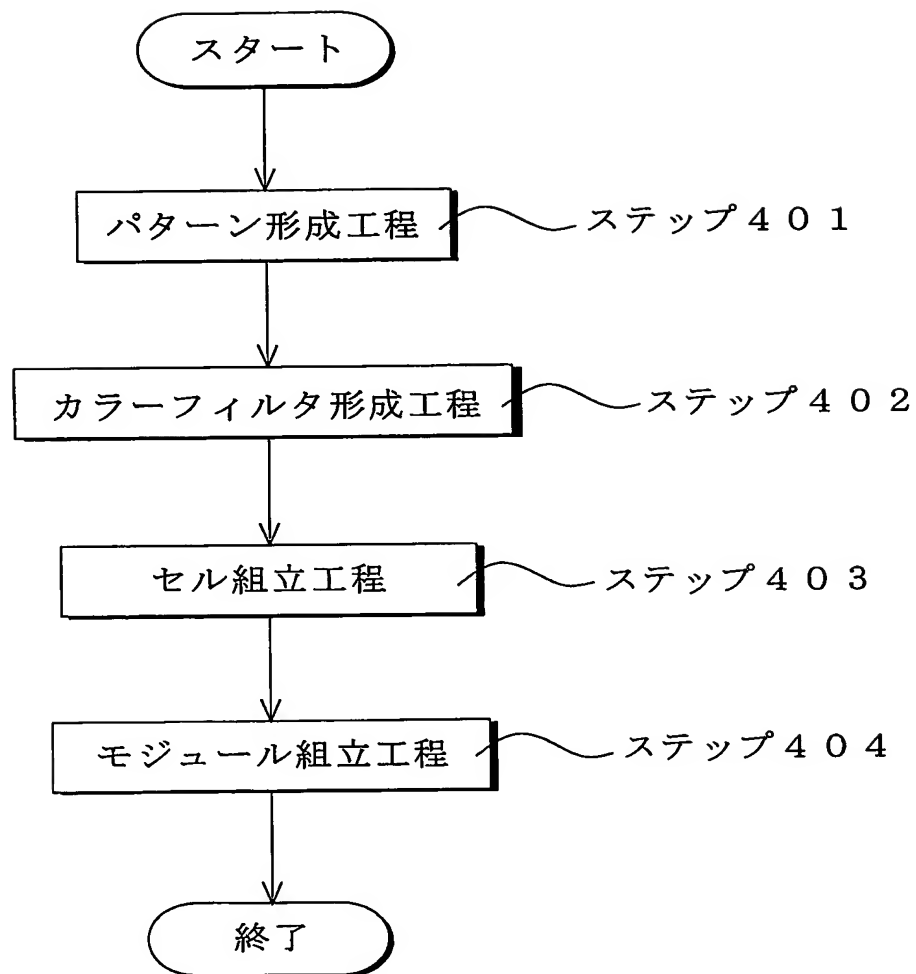
7 / 8

第 7 図



8 / 8

第 8 図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/07691

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H01L21/027, G02B13/00, G02B19/00, G03F7/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01L21/027, G02B13/00, G02B19/00, G03F7/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 01/61411 A1 (SILICON VALLEY GROUP, INC.), 23 August, 2001 (23.08.01), Page 1 (Family: none)	1-18
A	EP 1180726 A2 (Carl Zeiss), 20 February, 2002 (20.02.02), Page 1 & JP 2002-116379 A	1-18
A	DE 10062579 A1 (Nikon Corp.), 21 June, 2001 (21.06.01), Page 1 & JP 2001-338861 A	1-18

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 12 September, 2003 (12.09.03)	Date of mailing of the international search report 30 September, 2003 (30.09.03)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/07691

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6414795 B1 (Canon Kabushiki Kaisha), 02 July, 2002 (02.07.02), Page 1 & JP 2000-147375 A	1-18
A	US 6323937 B1 (Canon Kabushiki Kaisha), 27 November, 2001 (27.11.01), Page 1 & JP 2000-106339 A	1-18
A	US 6285440 B1 (Canon Kabushiki Kaisha), 04 September, 2001 (04.09.01), Page 1 & JP 11-121358 A	1-18
A	EP 668541 A1 (CANON KABUSHIKI KAISHA), 23 August, 1995 (23.08.95), Page 1 & JP 7-211621 A & US 5847746 A	1-18
A	JP 6-175028 A (Nikon Corp.), 24 June, 1994 (24.06.94), Page 1 (Family: none)	1-18

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01L21/027, G02B13/00, G02B19/00, G03F7/20

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01L21/027, G02B13/00, G02B19/00, G03F7/20

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2003年
 日本国登録実用新案公報 1994-2003年
 日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	WO 01/61411 A1 (SILICON VALLEY GROUP, INC.) 2001.08.23 第1ページ (ファミリーなし)	1-18
A	EP 1180726 A2 (Carl Zeiss) 2002.02.20 第1ページ & JP 2002-116379 A	1-18
A	DE 10062579 A1 (Nikon Corp.) 2001.06.21 第1ページ & JP 2001-338861 A	1-18

☒ C欄の続きにも文献が列举されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

12.09.03

国際調査報告の発送日

30.09.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

岩本 勉

2M

9355

電話番号 03-3581-1101 内線 3274

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	US 6414795 B1 (Canon Kabushiki Kaisha) 2002. 07. 02 第1ページ & JP 2000-147375 A	1-18
A	US 6323937 B1 (Canon Kabushiki Kaisha) 2001. 11. 27 第1ページ & JP 2000-106339 A	1-18
A	US 6285440 B1 (Canon Kabushiki Kaisha) 2001. 09. 04 第1ページ & JP 11-121358 A	1-18
A	EP 668541 A1 (CANON KABUSHIKI KAISHA) 1995. 08. 23 第1ページ & JP 7-211621 A & US 5847746 A	1-18
A	JP 6-175028 A (株式会社ニコン) 1994. 06. 24 第1ページ (ファミリーなし)	1-18